

SACHVERSTÄNDIGE

der
Materialprüfungs- und Versuchsanstalt
Neuwied GmbH

Forschungsinstitut für vulkanische Baustoffe



Baustoffkundliche Bewertung

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des
horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen
durch Verwendung von Erdankern



Auftrags-Nr.: **6-16/2154/21**
Auftraggeber: **Romex GmbH**
Mühlgrabenstraße 21
53340 Meckenheim
Auftragsdatum: **14. Oktober 2021**
Ausfertigungsdatum: **14. Dezember 2021**
Textseiten: **23**
Anlagen: **--**



Dr. rer.nat. Karl-Uwe Voß
von der Industrie- und Handels-
kammer zu Koblenz ö. b. u. v.
Sachverständiger für
„Analyse zementgebundener
Baustoffe insb. Flächen-
befestigungen aus Beton-
pflasterstein und Betonwaren“
☎ +49 (0) 26 31 / 39 93-23
E-Mail Voss@mpva.de

Dipl.-Min. Henning Rohowski
von der Industrie- und Handels-
kammer zu Koblenz ö. b. u. v.
Sachverständiger für
„Naturstein einschließlich Dach-
schiefer“
☎ +49 (0) 26 31 / 39 93-25
E-Mail Rohowski@mpva.de

Dr. rer.nat. Petra Arens
von der Industrie- und Handels-
kammer zu Koblenz ö. b. u. v.
Sachverständige für
„Putze und Mörtel“
☎ +49 (0) 26 31 / 39 93-31
E-Mail Arens@mpva.de

B. Eng. Manuel Krautkrämer
durch die Zertifizierung Bau
GmbH Berlin zertifizierter Sach-
verständiger für „Betonbeschäden
und Betoninstandsetzung“
☎ +49 (0) 26 31 / 39 93-34
E-Mail krautkraemer@mpva.de

Die Wiedergabe dieses Gutachtens in gekürzter Form, auszugsweise oder zu Werbezwecken darf nur mit der schriftlichen Genehmigung des Verfassers erfolgen

G:\2021\16_6_2154_Vo_romex_Verschiebung\Versand_Mail\21_16_2154ga_Romex.doc

SACHVERSTÄNDIGE

der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH

14. Dezember 2021

Baustoffkundliche Bewertung 6-16/2154/21

Seite 2 von 23

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

0 VERZEICHNISSE

0.1 INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFTRAGSGEGENSTAND	2
2	VERWENDETE LITERATUR.....	3
3	DURCHFÜHRUNG DER LABORUNTERSUCHUNGEN	4
3.1	Versuchsaufbau	4
3.1.1	Versuchsaufbau ohne Erdanker	7
3.1.2	Ergänzende Einbringung der Erdankern	12
3.2	Prüfplan	16
3.3	Ergebnisse der Untersuchungen	18
3.4	Zusammenfassung der Prüfergebnisse	21
4	ZUSAMMENFASSUNG	22
4.1	Abschlussbemerkung	23

1 AUFTRAGSGEGENSTAND

Mit Datum vom 14. Oktober 2021 wurde die MPVA Neuwied GmbH von der Romex GmbH mit dem Nachweis der Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes durch Verwendung der Erdanker „ISATEC® - STOP EAP“ der Firma Romex beauftragt.

Das Ziel dieser Untersuchungen bestand darin, anhand vergleichender Untersuchungen den Einfluss der Verwendung von Erdankern auf die horizontale Verschiebeneigung einer Pflasterdecke zu ermitteln.

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

2 VERWENDETE LITERATUR

Dem Unterzeichner lagen folgende Unterlagen bei der Bearbeitung dieser baustoffkundlichen Bewertung vor:

- [L 1] **Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V.** (06-2014): Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen – Richtig planen und ausführen, Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf;
- [L 2] Rohleder, M, Jungfeld, I.: Ermittlung eines Bewertungshintergrundes für den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken. Informationen Forschung im Straßen- und Verkehrswesen – Teil: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik IV-74. Lfg, FGSV Verlag, Köln;
- [L 3] Lerch, T., Numrich, R., Hampel, U., Lorenz, H.: Weiterführende Untersuchungen zum Verhalten von Pflasterdecken unter horizontaler Belastung. Informationen Forschung im Straßen- und Verkehrswesen – Teil: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik IV-77. Lfg, FGSV Verlag, Köln;
- [L 4] Rohleder, M. (2002): Horizontale Verschiebungen in Pflasterdecken und deren Visualisierung. Schriftreihe des Instituts für Straßenwesen und Eisenbahnbau der Ruhr (Ausgabe 15);
- [L 5] Prof. Dr.- Ing. Koch, Carsten (02-2003): Forschung und Praxis – zum Erfolg durch Kompetenz: Bettung, Fugenverfüllung und Horizontalbelastbarkeit von Pflasterflächen. BFT Kongressunterlagen, 47. Ulmer Beton- und Fertigteiltage, Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh;
- [L 6] Rohleder, M., Jungfeld, I. (03-2003): Ermittlung eines Bewertungshintergrundes für den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken. Straße und Autobahn, Kirschbaum Verlag, Bonn;
- [L 7] Dipl.- Ing. Ascher, Daniel, Dr.- Ing. Lerch, Tobias (01-2007): Verformungsverhalten von Betonpflasterbefestigungen unter vertikaler und horizontaler dynamischer Lasteintragung. Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh;

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

- [L 8] Wellner, F., Lerch, T., Numrich, R., Hampel, U., Lorenzl, H. (2004): Weiterführende Untersuchungen zum Verhalten von Pflasterdecken unter horizontaler Belastung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, (Ausgabe 894), FGSV Verlag, Köln.

3 DURCHFÜHRUNG DER LABORUNTERSUCHUNGEN

3.1 Versuchsaufbau

Auftragsgemäß sollte der nachfolgend beschriebene Referenzaufbau (von unten nach oben) hergestellt werden:

SACHVERSTÄNDIGE

der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH

14. Dezember 2021

Baustoffkundliche Bewertung 6-16/2154/21

Seite 5 von 23

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

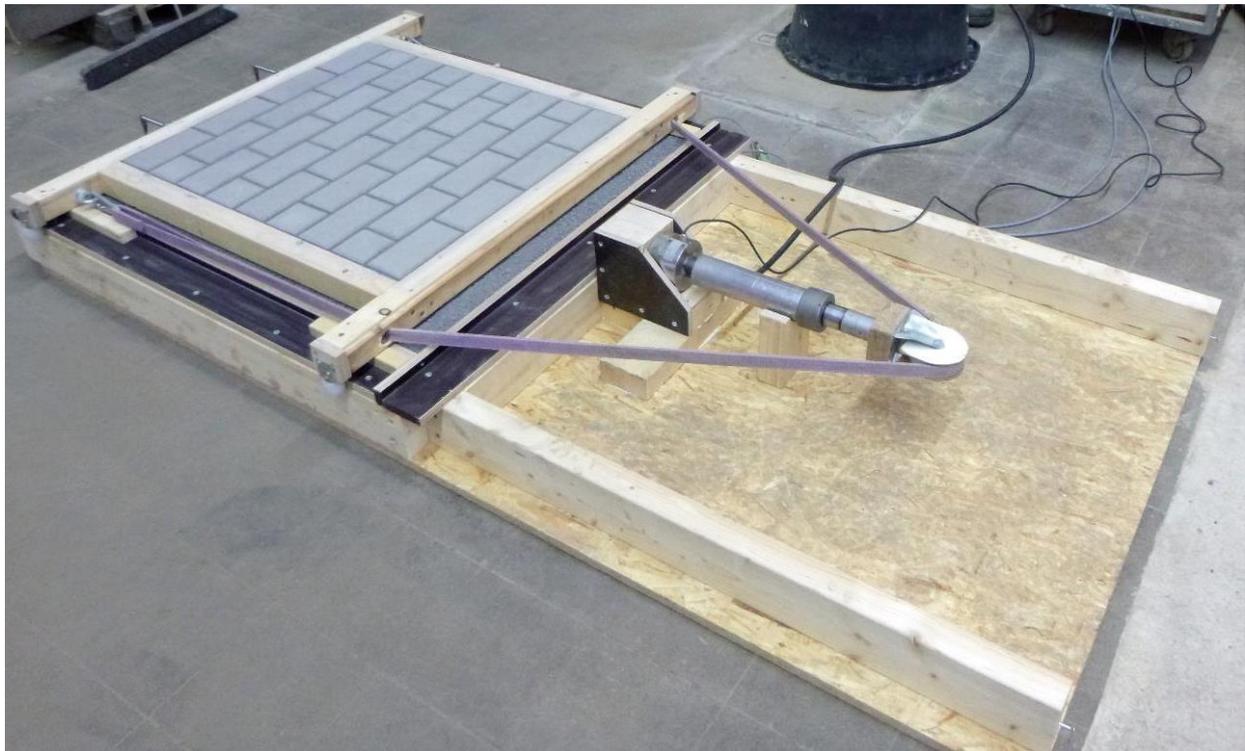
Tabelle 1: Versuchsaufbau

Versuchsaufbau		Versuch 1A	Versuch 1B	Versuch 2A	Versuch 2B
Tragschicht	Material	Lava		Lava	
	Korngröße	0/32 mm		0/32 mm	
	Einbaustärke	12 cm		12 cm	
Bettung	Material	Brechsand-/Splitt		Brechsand-/Splitt	
	Korngröße	0/5 mm		0/5 mm	
	Einbaustärke	4 cm		4 cm	
	Feuchte	Trocken		Trocken	
Pflaster	Art	RE 20/10/8		RE 20/10/8	
	Dicke	8 cm		8 cm	
	Verband	Läufer		Läufer	
	Verlegerichtung	quer		quer	
	Produktionshilfe	ja		ja	
	Profilierung	nein		nein	
Fugenmaterial	Material	Brechsand		2/3 von unten Brechsand; Fugenverschluss mit ISATEC® - FLEX	
	Korngröße	0/2 mm		0/2 mm	
	Fugenbreite	8 mm		8mm	
	Feuchte	Trocken		Trocken	
Erdanker		nein		ISATEC® - STOP EAP	

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Der für die Prüfung verwendete Versuchsaufbau ist so ausgelegt, dass eine kontrollierte Lasteinleitung ebenso möglich ist, wie die Aufzeichnung der horizontalen Verschiebung der Pflasterfläche gegenüber der fixierten Bettungsfläche. Der Versuchsaufbau ist in dem nachfolgenden Bild dargestellt.

Bild 1: Versuchsaufbau



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

3.1.1 Versuchsaufbau ohne Erdanker

Zur Herstellung des Versuchsaufbaus wurde die Tragschicht auf dem unteren Prüfrahmen (nachfolgend Bettungsrahmen genannt) mit den Innenabmessungen 110,0 cm x 80,0 cm eingefüllt und verdichtet.

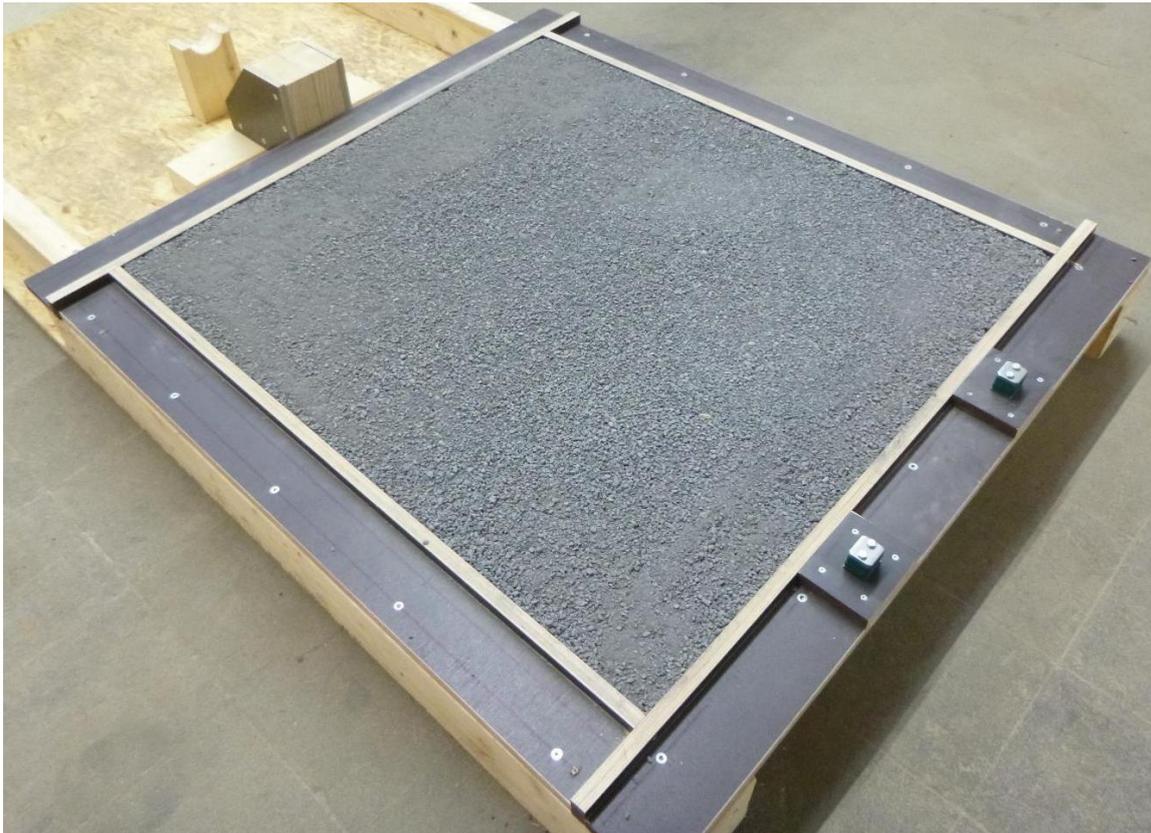
Bild 2: Verdichtung der Tragschicht



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Auf diesen Rahmen wurde ein weiterer Rahmen aufgesetzt, in welchen die Pflasterbettung eingebracht, abgezogen und auf eine Dicke von 40 mm verdichtet wurde.

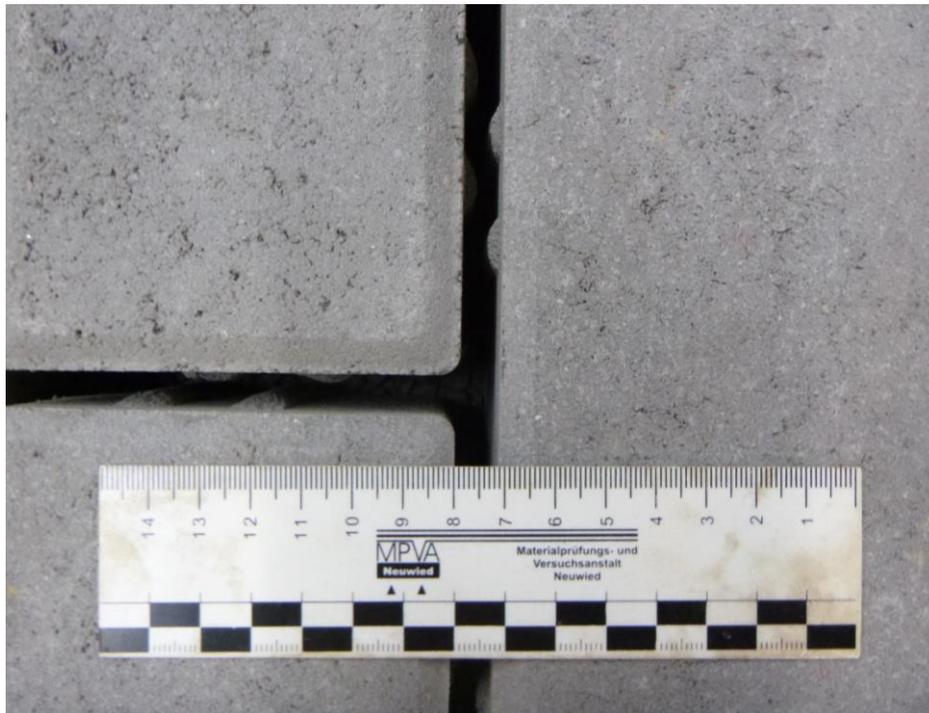
Bild 3: Einbringung der Bettung



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Auf diesen Aufbau wurde ein oberer, verschiebbarer Prüfrahmen (nachfolgend Pflasterrahmen genannt) mit den auf das jeweilige Verlegebild abgestimmten Innenabmessungen aufgesetzt. In diesen Pflasterrahmen wurden die Betonpflastersteine mit einer Fugenbreite von 8 mm verlegt.

Bild 4: Herstellung der Pflasterdecke



SACHVERSTÄNDIGE

der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH

14. Dezember 2021

Baustoffkundliche Bewertung 6-16/2154/21

Seite 10 von 23

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Die Fugenfüllung erfolgte durch trockenes Einkehren, anschließend wurde die Fläche ca. 60 sec kreuzweise abgerüttelt und neuerlich vollständig mit Fugenmaterial gefüllt. Vor und nach der Verdichtung wurde der Höhenunterschied zwischen Pflastersteinrahmen und Pflastersteinoberfläche an vier Stellen gemessen und hieraus die erreichte Verdichtung berechnet. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 2: Ermittlung der Verdichtung infolge des Abrüttelns – Versuchsserie 2a

Versuch 2a	Gemessene Höhendifferenz zwischen Pflastersteinrahmen und Pflastersteinoberfläche [mm]			
	Messstelle 1	Messstelle 2	Messstelle 3	Messstelle 4
Stichmaß vor Verdichtung	60	59	59	59
Stichmaß nach Verdichtung	52	51	51	52
Differenz	8	8	8	7
Mittelwert	7,75			

Tabelle 3: Ermittlung der Verdichtung infolge des Abrüttelns – Versuchsserie 2b

Versuch 2a	Gemessene Höhendifferenz zwischen Pflastersteinrahmen und Pflastersteinoberfläche [mm]			
	Messstelle 1	Messstelle 2	Messstelle 3	Messstelle 4
Stichmaß vor Verdichtung	61	60	60	60
Stichmaß nach Verdichtung	54	54	53	54
Differenz	7	6	7	6
Mittelwert	6,5			

Anmerkung: Während dieser Arbeitsschritte waren der Pflastersteinrahmen und der Bettungsrahmen miteinander verschraubt und somit gegen Verschiebung gesichert.

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Bild 5: Herstellung der Pflasterdecke



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

3.1.2 Flächen unter Verwendung der Erdanker

Der Versuchsaubau dieser Prüfserie entsprach dem der Versuche „ohne Erdanker“, nur dass bei diesen Versuchen zusätzlich Erdanker des Typs „ISATEC® - STOP EAP“ gemäß der Verlegeanweisung der Firma Romex zur Verlegung der Betonpflastersteine eingesetzt wurden. Die Orientierung der Erdanker ist im nachfolgenden Bild von der Unterseite der Pflasterdecke aus fotografiert zu entnehmen.

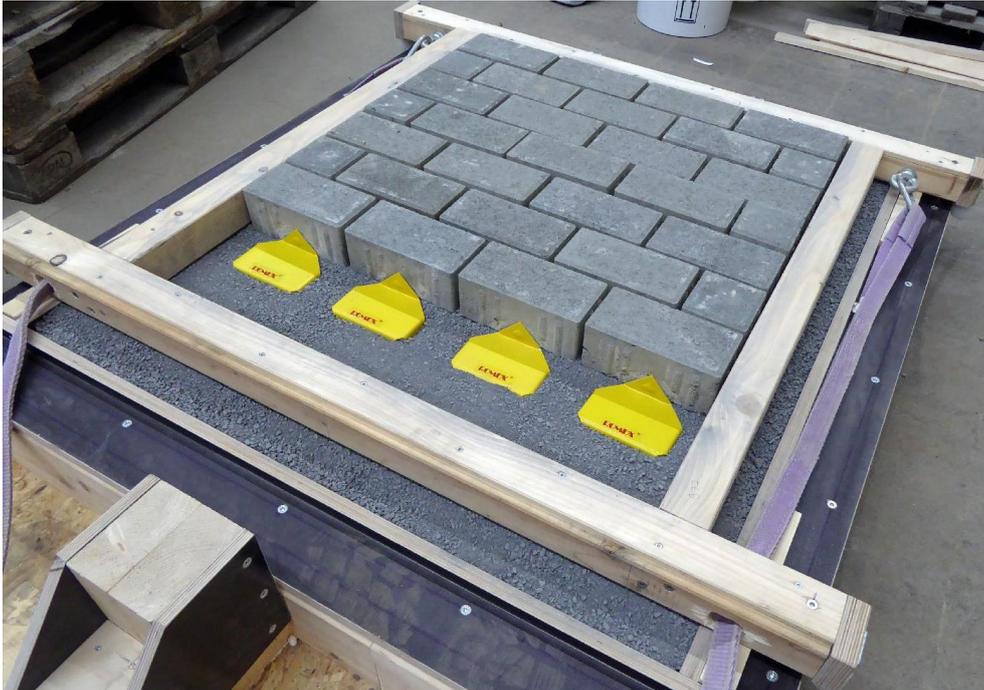
Bild 6: Orientierung der Erdanker



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Das folgende Bild zeigt die eingebrachten Erdanker während der Verlegung des Pflasterbelags.

Bild 7: Einbringung der Erdanker



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Nach der Verlegung der Pflastersteine wurde der trockene Brechsand 0/2 mm über 2/3 der Fughöhe trocken eingekehrt und die Fläche ca. 60 sec kreuzweise abgerüttelt. Anschließend wurde der obere Bereich der Fuge unter Verwendung des zähelastischen Fugenmörtels „ISATEC® - FLEX“ als Fugenschluss“ gemäß der Herstellervorgabe eingebracht.

Bild 8: Einbringung des zähelastischen Fugenmörtels



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Bild 9: Einbringung des Fugenmörtels



Diese fertigen Flächen lagerten vor der Durchführung der Verschiebeversuche über einen Zeitraum von 7 Tagen im Hallenklima bei ca. 18°C bis 20°C.

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

3.2 Prüfplan

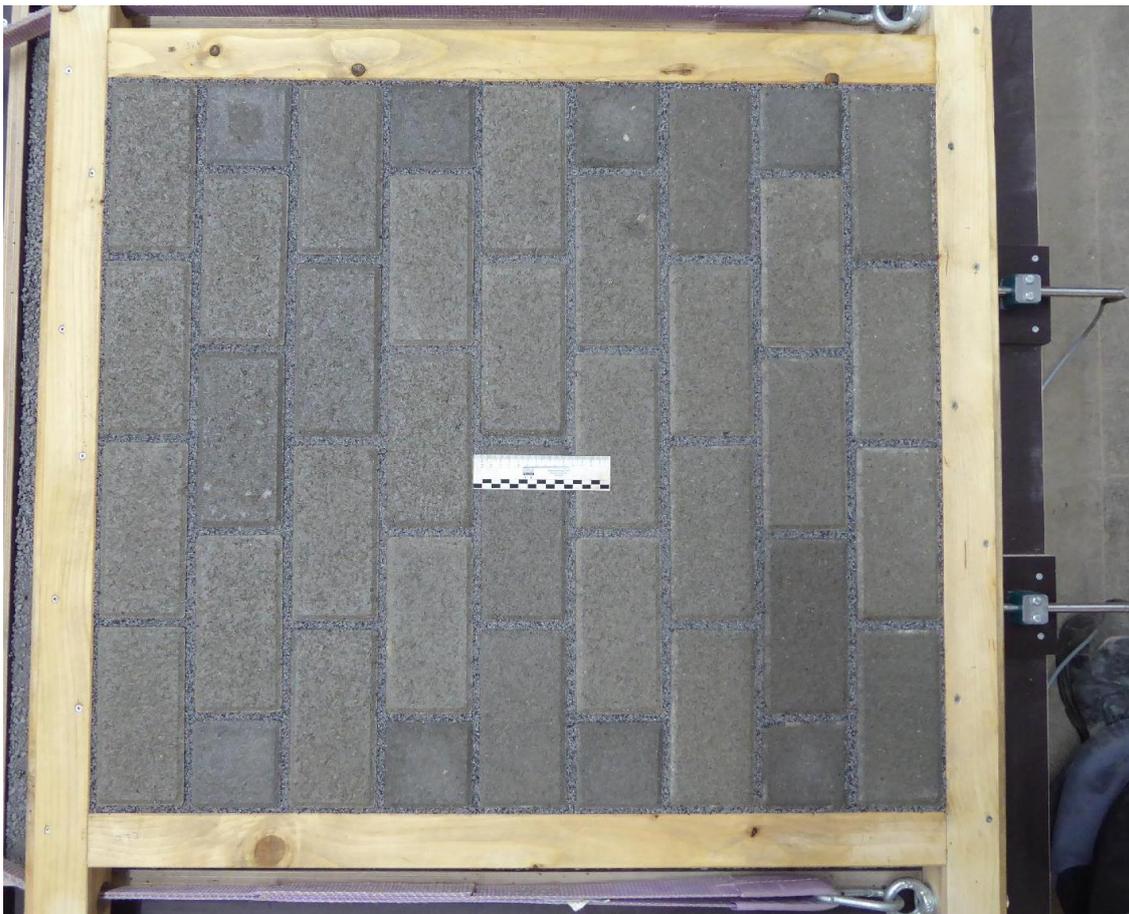
Die Durchführung der Versuche erfolgte mittels einer Doppelbestimmung. Im Rahmen der Versuchsserien sollten die nachfolgend genannten Parameter variiert werden:

Versuch 1: Referenzprüfung ohne Erdanker;

Versuch 2: Wie Versuchsaufbau 1 aber unter Verwendung der Erdanker ISATEC® - STOP EAP.

Das nachfolgende Bild zeigt exemplarisch die zur Durchführung der Versuche eingesetzte Prüffläche 2a.

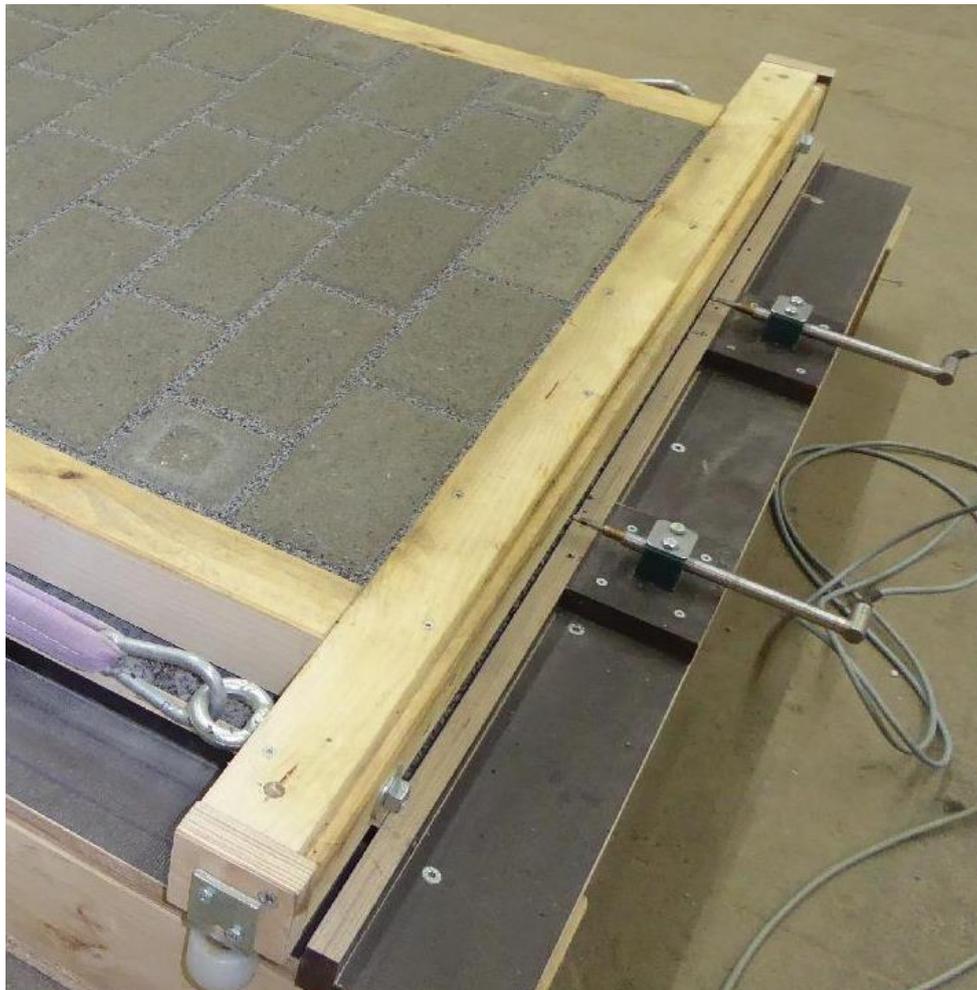
Bild 10: Prüffläche des Versuchs 2a



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Nach dem Lösen der Verschraubungen des Versuchsaufbaus zwischen Pflasterrahmen und Bettungsrahmen erfolgte die horizontale Lasteinleitung in den Pflasterrahmen mittels eines Druckkolbens. Die horizontale Verschiebung wurde mittels Wegaufnehmern an zwei Stellen in direkter Abhängigkeit von der eingeleiteten Last erfasst.

Bild 11: Wegaufnehmer am Pflasterrahmen

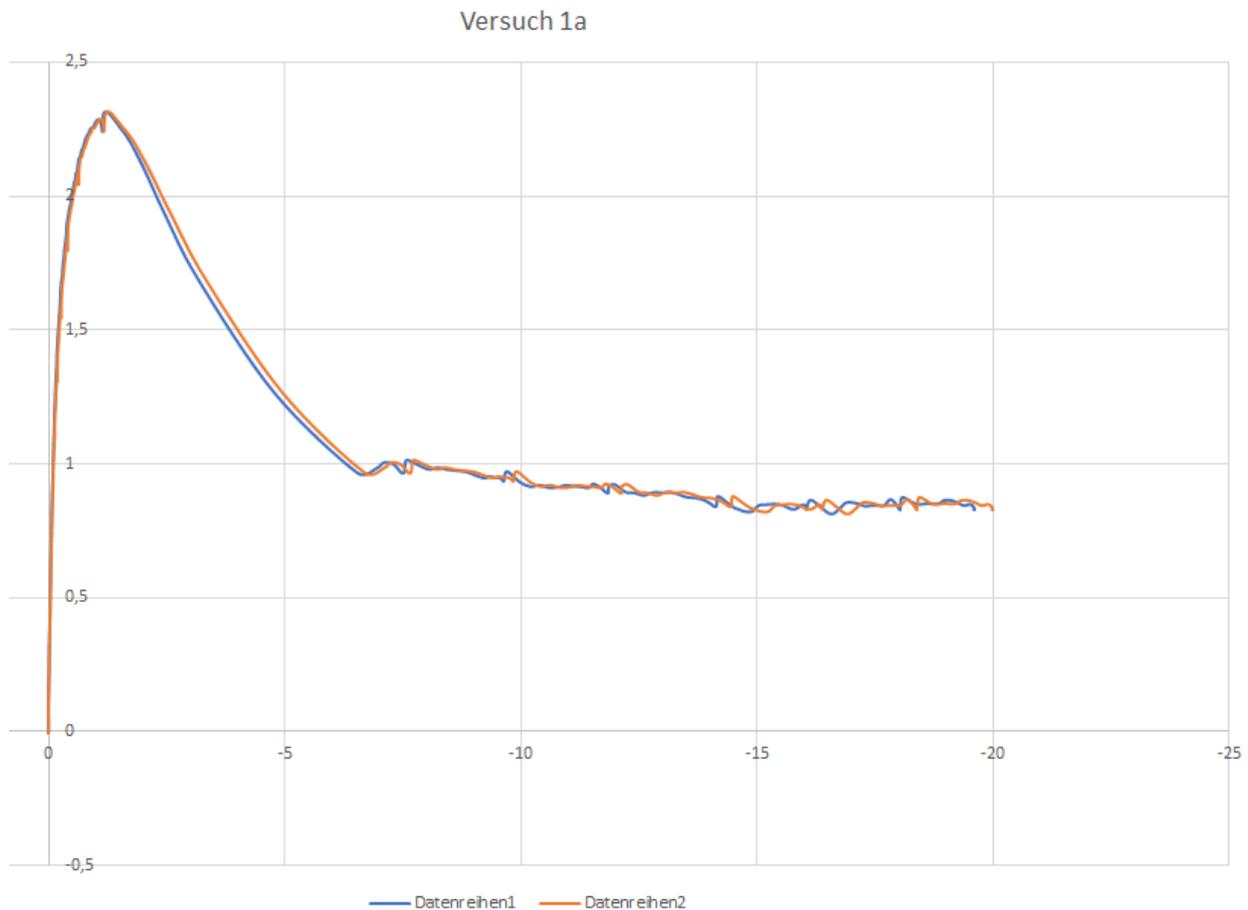


Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

3.3 Ergebnisse der Untersuchungen

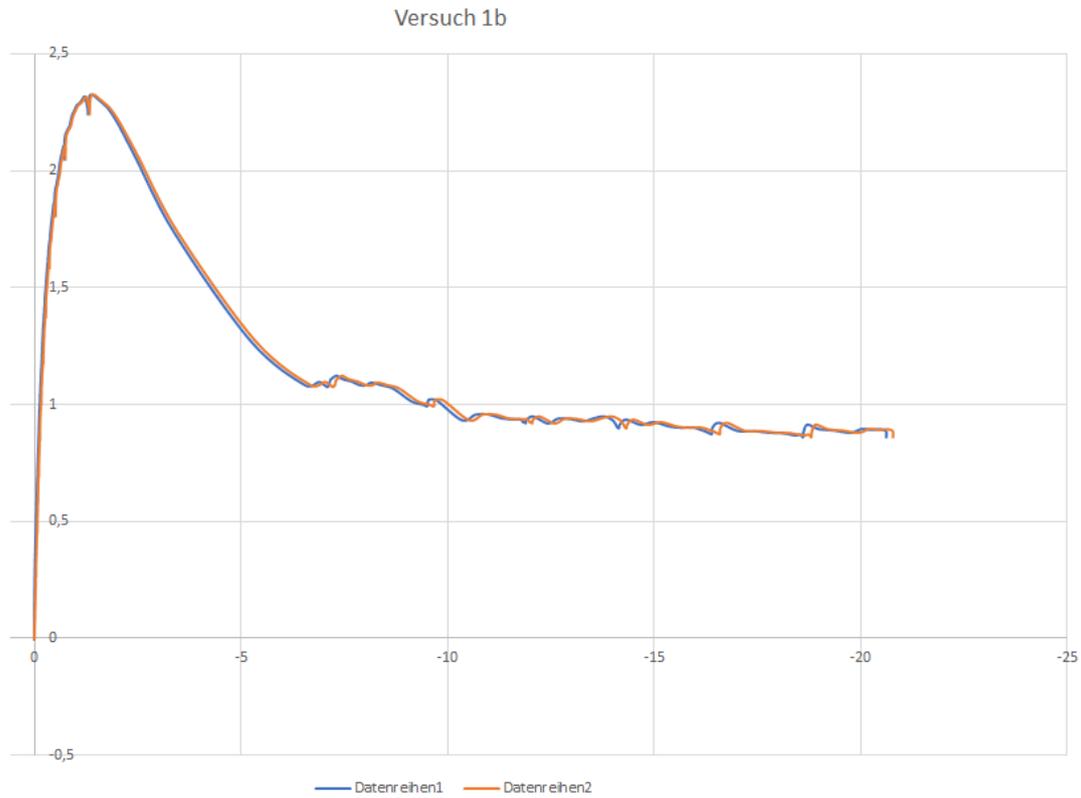
Für jeden Versuchsaufbau erfolgte eine Doppelbestimmung, wobei der gesamte Prüfaufbau unter Verwendung neuer Tragschicht-, Bettungs- und Fugenmaterialien für jeden Versuch neu hergestellt wurde. Die Lasteinleitung erfolgte mittels Druckkolben bei konstanter Lastzunahme. Spätestens bei Erreichen einer horizontalen Verschiebung von ca. 20 mm wurde der Versuch beendet. Die bei den Versuchen ermittelten Kraft-Weg-Diagramme sind nachfolgend abgebildet.

Abbildung 1: Kraft-Weg-Diagramm der Versuchsreihe 1a (ohne Erdanker)



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Abbildung 1: Kraft-Weg-Diagramm der Versuchsreihe 1b (ohne Erdanker)

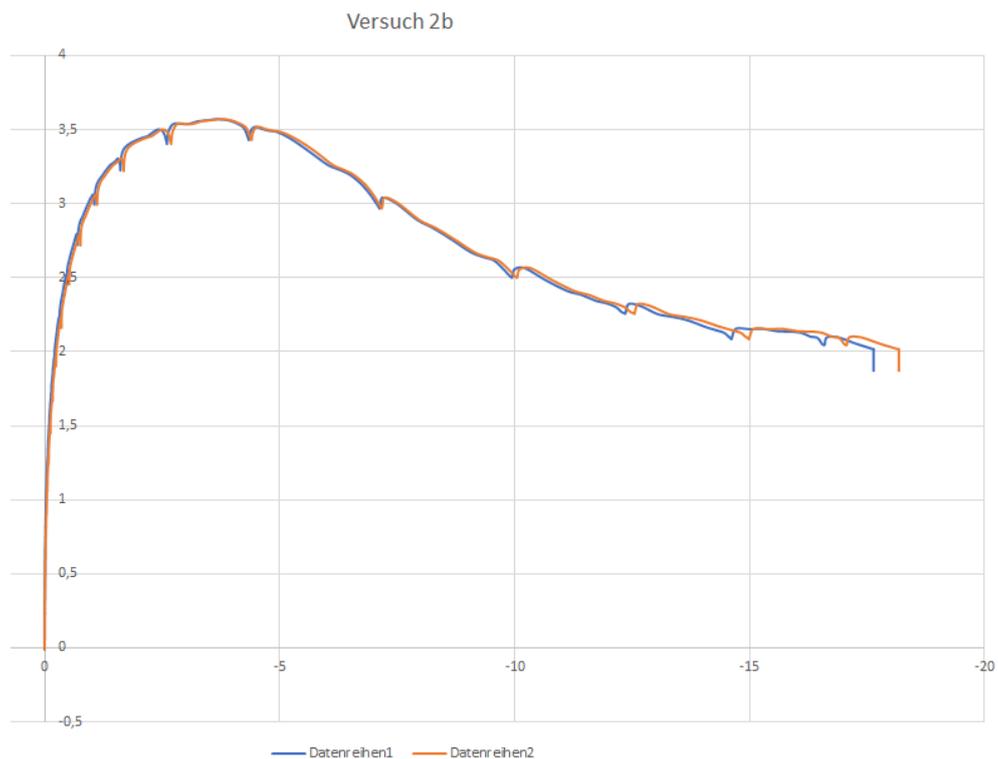


Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

Abbildung 1: Kraft-Weg-Diagramme der Versuchsreihe 2a (mit Erdankern)



Abbildung 1: Kraft-Weg-Diagramme der Versuchsreihe 2b (mit Erdankern)



Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

3.4 Zusammenfassung der Prüfergebnisse

Zur Bewertung des Einflusses der einzelnen Parameter auf den Verschiebewiderstand wurden die Reibungsbeiwerte μ aus den ermittelten Messwerten berechnet. Diese Reibungsbeiwerte sind definiert als Verhältniswert zwischen der im Versuch ermittelten horizontalen Maximalkraft und der aus dem Eigengewicht resultierenden Vertikalkraft.

Berechnung des Reibungsbeiwertes μ :

$$\mu = \frac{F(\text{horizontal})}{F(\text{vertikal})}$$

hierbei ist

- F(horizontal) = Maximalkraft bei der Versuchsdurchführung [kN];
- F(vertikal) = Eigengewicht der Pflastersteine in [kN].

Das Eigengewicht des Fugenmaterials und des Prüfrahmens wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Prüfungsergebnisse

Ergebnisse					
		ohne Erdanker		mit Erdankern	
		Versuch 1A	Versuch 1B	Versuch 2A	Versuch 2B
Kraft [kN]	horizontal	2,32	2,32	4,24	3,57
Reibungsbeiwert	Einzelwerte	1,77	1,78	3,25	2,73
	Mittelwerte	1,78		2,99	

SACHVERSTÄNDIGE

der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH

14. Dezember 2021

Baustoffkundliche Bewertung 6-16/2154/21

Seite 22 von 23

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

4 ZUSAMMENFASSUNG

Mit Datum vom 14. Oktober 2021 wurde die MPVA Neuwied GmbH von der Romex GmbH mit dem Nachweis der Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes durch Verwendung der Erdanker „ISATEC® - STOP EAP“ der Firma Romex beauftragt.

Das Ziel dieser Untersuchungen bestand darin, anhand vergleichender Untersuchungen den Einfluss der Verwendung von Erdankern auf die horizontale Verschiebeneigung einer Pflasterdecke zu ermitteln.

In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen nochmals zusammengefasst.

Tabelle 5: Prüfungsergebnisse

Ergebnisse					
		ohne Erdanker		mit Erdankern	
		Versuch 1A	Versuch 1B	Versuch 2A	Versuch 2B
Kraft [kN]	horizontal	2,32	2,32	4,24	3,57
Reibungsbeiwert	Einzelwerte	1,77	1,78	3,25	2,73
	Mittelwerte	1,78		2,99	

Wie diese Ergebnisse zeigen, ließ sich der Verschiebewiderstand um 68,5 % durch die Verwendung der Erdanker steigern.

Vergleichende Versuche zur Verbesserung des horizontalen Verschiebewiderstandes von Pflastersteinen durch Verwendung von Erdankern

4.1 Abschlussbemerkung

Diese baustoffkundliche Bewertung wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt und darf nur für den im Auftragsgegenstand benannten Zweck verwendet werden.

Neuwied, den 14. Dezember 2021

Institutsleitung

